



REC'D 17 OCT 2003

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 50 917.4

**Anmeldetag:** 31. Oktober 2002

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zum Betrieb eines Einspritzventils mit einem piezoelektrischen Aktor sowie Steuergerät

**IPC:** F 02 D 41/20

BEST AVAILABLE COPY

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 7. Oktober 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

## Beschreibung

Verfahren zum Betrieb eines hydraulischen Einspritzventils mit einem piezoelektrischen Aktor sowie Steuergerät

5

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zum Betrieb eines hydraulischen Einspritzventils (Injektors), das wenigstens mit einem piezoelektrischen Aktor, mit einem zu bewegendem Bauteil und mit einem hydraulischen Element ausgebildet ist und die in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet sind, wobei durch Anlegen einer Steuerspannung an den Aktor der Hub des zu bewegendem Bauteils reversibel steuerbar ist, beziehungsweise von einem Steuergerät nach der Gattung der nebengeordneten Ansprüche 1 und 7. Es ist schon bekannt, zur Steuerung eines Einspritzventils, insbesondere für die Kraftstoffeinspritzung in einen Verbrennungsmotor, einen piezoelektrischen Aktor zu verwenden, der mit einer seiner Polungsrichtung entsprechenden Steuerspannung betrieben wird. Dabei nutzt man beispielsweise zur direkten Betätigung einer Ventilnadel des Einspritzventils die Längenänderung aus, die der Aktor durch die angelegte Steuerspannung vollzieht. Bei der indirekten Nutzung wird dagegen die Ventilnadel durch Aufstoßen eines Absteuerventils (Servoventils) geöffnet.

10  
15  
20

Die Längenänderung (Elongation) ist vom physikalischen Prinzip her eine sehr kleine Größe. Um eine nutzbare Längenänderung zu erzielen, wurden beispielsweise vielschichtige Aktoren wie PMA (Piezo-elektrischer Multilayer Aktor) entwickelt und die angelegte Steuerspannung möglichst hoch, zum Beispiel 160V gewählt. Dennoch beträgt die Längenänderung eines solchen Aktors nur 0,12-0,14% der Länge des Aktors im entladenen Zustand. Bei höheren Spannungen nimmt der Hub nur noch unterproportional zu. Dagegen werden dann die Feldstärken in den einzelnen Schichten der Piezokeramik, die üblicherweise 80 µm betragen, größer als 2 kV/m. Dieses könnte dann zu neuen Problemen wie elektrischen Spannungsdurchschlägen führen, die den Piezokeramik dann irreversibel schädigen würden.

30  
35

Prinzipiell ist insbesondere bei direkt betriebenen Hochdruckeinspritzventilen ein großer Hub der Piezokeramik und damit der Ventilnadel erwünscht, da mit einem großen Hub auch eine große Einspritzmenge erzielt werden kann. Dieses wird  
5 beispielsweise bei besonders leistungsstarken oder Rennmotoren gefordert.

Bei indirekt betriebenen Einspritzventilen ist ein großer Hub der Ventilnadel insbesondere deswegen erwünscht, weil die  
10 Fertigungstoleranzen vergrößert werden können und dadurch Kostenvorteile erzielt werden können.

Zur Vergrößerung des Hubs der Ventilnadel wurde auch schon versucht, die Baulänge des Aktors zu vergrößern. Diese Lösung  
15 ist zwar wirkungsvoll, ist aber wegen des oben genannten geringen Elongationsfaktors der Piezokeramik relativ teuer.

Bekannt ist des weiteren, die Einspritzmenge durch einen möglichst langen Spannungsimpuls zu steuern. Die Länge des Einspritzimpulses bei einem Verbrennungsmotor ist aber durch die  
20 physikalischen Randbedingungen, insbesondere den optimalen Einspritzzeitpunkt, Abgasforderungen, Temperatur, Laufkultur usw. sehr begrenzt. Insbesondere bei der Mehrfacheinspritzung, bei der innerhalb eines Zyklusses bis zu fünf Injektionen  
25 in sehr kurzen Zeitabständen erfolgen, kann nur ein sehr kurzer Einspritzimpuls gewählt werden.

Bei bekannten Einspritzventilen wird häufig auch ein hydraulisches Element (hydraulisches Lager) als Spielausgleichselement verwendet, um parasitäre Spalten zu vermeiden. Dadurch  
30 kann der zur Verfügung stehende Hub des Aktors zu nahezu 100% auf die Ventilnadel übertragen werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Betrieb eines hydraulischen Einspritzventils beziehungsweise das Steuergerät mit  
35 den kennzeichnenden Merkmalen der nebengeordneten Ansprüche 1 und 7 hat demgegenüber den Vorteil, dass die Elongation des

Aktors und damit der Hub des zu bewegenden Bauteils vergrößert werden kann, ohne dass die wirksame elektrische Feldstärke vergrößert werden muss. Durch die angelegte Biasspannung wird eine Schädigung des Aktors wirkungsvoll ausgeschlossen. Als besonders vorteilhaft wird dabei angesehen, dass an dem Einspritzventil selbst keine konstruktiven Änderungen vorgenommen werden müssen, so dass das erfindungsgemäße Verfahren generell an handelsübliche Einspritzventile angewendet werden kann. Darüber hinaus wird durch den vergrößerten Hub des zu bewegenden Bauteils in vorteilhafter Weise auch eine größere Einspritzmenge erzielt.

Durch die in den abhängigen Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des in den nebengeordneten Ansprüche 1 und 7 angeführten Verfahrens beziehungsweise der Steuerschaltung gegeben. Als besonders vorteilhaft wird dabei angesehen, dass der Betrag der Biasspannung kleiner ist als der Betrag einer solchen Spannung, die zu einer Umpolung des Aktors führen würde. Denn durch Anlegen der Biasspannung verkürzt sich der Aktor in diesem Spannungsbereich, so dass beim Anlegen der Steuerspannung diese Verkürzung als zusätzliche Elongation des Aktors genutzt werden kann.

Da wegen des hydraulischen Elementes im Einspritzventil die zusätzliche Elongation des Aktors praktisch vollständig auf das zu bewegende Bauteil übertragen wird, ergibt sich in vorteilhafter Weise dessen größerer Hub, ohne dass am Einspritzventil mechanische Änderungen vorgenommen werden müssen.

30

Ein weiterer Vorteil wird auch darin gesehen, dass durch die Biasspannung auch eine Reduzierung des Energieverbrauchs erreicht werden kann. Durch Verschiebung der Steuerspannung in den teilweise negativen Bereich verringert sich der Energieaufwand, da dieser physikalisch gesehen proportional mit dem Quadrat der Spannung ansteigt.

35

Eine günstige Lösung wird auch darin gesehen, die Steuerspannung unter Nutzung der Biasspannung zur Einstellung eines definierten Hubs des zu bewegendenden Bauteils zu nutzen. Durch den definierten Hub kann auf einfache Weise beispielsweise eine in einen Verbrennungsmotor einzuspritzende Kraftstoffmenge vorteilhaft gesteuert werden, ohne dass die Länge der Einspritzimpulse variiert werden muss. Die Einspritzmenge kann somit auf sehr einfache Weise über die Amplitude der Steuerspannung und/oder der Biasspannung gesteuert werden.

Mit dem Steuergerät kann besonders vorteilhaft ein Einspritzventil gesteuert werden, mit dem Kraftstoff wie Benzin oder Diesel mit hohem Druck in einen Verbrennungsmotor eingespritzt werden soll. Mit dem Aktor lassen sich wegen der geringen Kapazitäten der PMA-Piezokeramik sehr viel kürzere Schaltzeiten erzielen als beispielsweise bei einem Magnetventil, so dass auch bei Mehrfacheinspritzungen sehr große Mengen bei genauer Dosierung des Kraftstoffs möglich sind.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren zum Betrieb eines hydraulischen Einspritzventils mit einem piezoelektrischen Aktor beziehungsweise ein Steuergerät anzugeben, das große Durchflussmengen bewältigen kann. Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der nebengeordneten Ansprüche 1 und 7 gelöst.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

Figur 1 zeigt ein Diagramm, in dem die Elongation eines piezoelektrischen Aktors in Abhängigkeit von der angelegten Steuerspannung schematisch dargestellt ist,

Figur 2 zeigt zwei Diagramme, wobei die eine Kurve die Elongation des Aktors ohne und eine zweite Kurve die Elongation unter Verwendung einer Biasspannung zeigt,

Figur 3a zeigt zwei Diagramme, in denen der Spannungsverlauf für einen Steuerimpuls über die Zeit aufgetragen ist,

Figur 3b zeigt zwei Diagramme, in denen der Hub der Ventilnadel über die Zeit aufgetragen ist,

Figur 4 zeigt schematisch ein Einspritzventil ohne Verwendung einer Biasspannung, bei dem das zu bewegende Bauteil (Ventilnadel) geschlossen ist,

10

Figur 5 zeigt den in Figur 3 dargestellten Fall unter Nutzung einer Biasspannung,

15

Figur 6 zeigt schematisch ein Einspritzventil ohne Biasspannung aber mit geöffneter Ventilnadel und

20

Figur 7 zeigt das erfindungsgemäße Einspritzventil mit geöffneter Ventilnadel unter Nutzung einer erfindungsgemäßen Biasspannung.

Zum besseren Verständnis der Erfindung wird zunächst an Hand der Diagramme in Figur 1 erläutert, wie sich auf Grund der physikalischen Gegebenheiten die Länge  $\Delta l_0$  eines Aktors in Abhängigkeit von einer angelegten Steuerspannung  $U$  ändert.

Die Länge eines PMA-Aktors hängt nicht nur von seinem äußeren elektrischen Feld entsprechend der angelegten Spannung ab, sondern auch von seiner elektrischen Vorgeschichte und seinem Polarisationszustand. Diese beiden Faktoren bestimmen in Verbindung mit dem angelegten äußeren elektrischen Feld die aktuelle Länge des PMA-Aktors. Die Erfindung zeigt nun, wie durch geschicktes Nutzen dieser Zusammenhänge der nutzbare Hub des Aktors vergrößert werden kann.

Als negative Spannung wird eine solche Spannung verstanden, deren Polarität entgegengesetzt ist zur Vorzugspolarisierung des Aktors. Entsprechend wirkt eine positive Spannung in Vorzugsrichtung des Aktors.

Das Diagramm der Figur 1 zeigt insgesamt vier Kurven a bis d, die bei Anlegen einer Spannung an einen beispielsweise 30 mm langen Aktor eine entsprechende Längenänderung oder Hub bewirken. Die Kurve a zeigt den bekannten Normalfall, bei dem entsprechend der Pfeilrichtung die Steuerspannung zunächst vom Wert 0V bis auf 160V hochgefahren wird. Der Hub beträgt hier typisch 0...50µm. Wird die Spannung wieder von 160V auf 0V zurückgefahren, ergibt sich der typische obere Hysteresebogen. Der Aktor zieht sich dabei wieder auf seinen ursprünglichen Länge zurück, entsprechend 0µm bei 0V. Allerdings geht nach Durchlaufen des Spannungszyklusses der Hub nicht sofort auf 0µm zurück. Auf diesen als langsames 'Kriechen' bekannten Effekt soll hier nicht näher eingegangen werden. Die Kurve a zeigt daher im Bereich des Nullpunktes eine Massierung von Messpunkten an.

Wir nun in einem zweiten Schritt entsprechend der dreieckförmigen Kurve b an den Aktor eine Spannung von 0V...-160V angelegt, dann ergibt sich entsprechend dem unteren Ast der Kurve b ein negativer Hub bis ca. -35µm, also ein Zusammenziehen des Aktors. Die Verkürzung des Aktors geht bis etwa -70V. Bei weiterer negativen Vergrößerung der Steuerspannung U beginnen die einzelnen Domänen des PMA-Aktors sich umzupolen, so dass bis -160V die Länge des Aktors zunimmt und sich wieder ein positiver Hub von ca. 50 µm einstellt (linker aufsteigender Ast der Kurve b). Wird nun die Steuerspannung von -160V auf 0V zurückgefahren, dann geht der Hub auch wieder auf 0 µm zurück.

Bei einem erneuten Durchlaufen des Spannungszyklusses von 0V...-160V und wieder zurück auf 0V ergibt sich die Kurve c, die spiegelbildlich zur Kurve a verläuft.

In einem vierten Schritt wurde entsprechend der Kurve d die Steuerspannung U von 0V bis +160V hochgefahren, wodurch sich zunächst wieder eine weitere Verkürzung um ca. 35 µm bei ca. 70V des Aktors ergab (Kurve d, unterer Ast). Bei höherer

Spannung erfolgte wieder eine Umpolarisierung, so dass der Aktor sich wieder ausdehnt. Durch Zurückfahren der Spannung U auf 0V ergibt sich wieder die ursprüngliche Aktorlänge.

5 Die Erfindung nutzt nun den Bereich, in dem durch Anlegen einer Biasspannung UB der Aktor verkürzt wird. Der Betrag der Biasspannung UB ist dabei kleiner als der Wert der Spannung, die zu einer Umpolarisierung und damit zu einer Verlängerung führt. In unserem Beispiel kann die Biasspannung UB zwischen  
10 0 und bis fast -70V genutzt werden, bei umgedrehter Polarität entsprechend zwischen 0 und bis fast +70V. Erfindungsgemäß wird somit ein Hub von maximal 85 µm erzielt, während der Hub ohne Biasspannung UB nur 50 µm betragen würde. Des weiteren ist vorgesehen, über die Höhe der Biasspannung UB und/oder  
15 der Steuerspannung U die Elongation des Aktors und damit einen vorgegebenen Hub des zu bewegenden Bauteils zu steuern. Diese gezielte Steuerung der einzuspritzenden Kraftstoffmenge in einen Verbrennungsmotor ist besonders vorteilhaft.

20 Dieses angeführte Beispiel ist natürlich abhängig von der gewählten Piezokeramik und dem verwendeten Einsatzbereich, der auch temperaturabhängig sein kann. Aber vom Prinzip her ist eine merkliche Vergrößerung des Hubs durch Anlegen der Biasspannung UB immer möglich.

5 Die beiden Hysterese-Kennlinien in dem Diagramm der Figur 2 zeigen nun, wie ein PMA-Aktor mit negativer Vorspannung (Biasspannung) betrieben werden kann. Die Kurve e zeigt zunächst einen bekannten Ansteuerzyklus, wie er bereits zur Kurve a in  
30 Figur 1 beschrieben wurde. Die Steuerspannung U wird wieder zwischen 0 und 160V gepulst. Der Hub beträgt ca. 38 µm maximal. Die Hysterese-Kennlinie f zeigt nun, wie durch Einsatz einer Biasspannung UB=-30V der Hub auf ca. 48 µm vergrößert werden kann. Der nutzbare Hub konnte somit um 10 µm entsprechend  
35 chend 26% erweitert werden.



Interessant ist in diesem Zusammenhang auch eine Energiebe-  
trachtung für den Aktor. Der Energieverbrauch ist generell  
 $E=U^2 \cdot C/2$ , wobei C die zu ladende Kapazität des Aktors ist.  
Wird beispielsweise die Betriebsspannung bei gleichem Hub um  
5 nur 20V nach unten verschoben, also von  $U=0 \dots 160V$  auf  
 $U=-20 \dots 140V$ , dann verhalten sich die beiden Energien wie  
 $(20^2+140^2)/160^2=0,78$ . Der Energiebedarf im verschobenen Be-  
reich ist also um ca. 22% niedriger als wenn keine Biasspan-  
nung verwendet wird.

10

Die Figuren 3a und 3b zeigen Diagramme, wie sie beispielswei-  
se für PMA-Aktoren (Injektoren) verwendet werden können, die  
zur Benzindirekteinspritzung geeignet sind. In Figur 3a zeigt  
die obere Kurve g eine Steuerspannung U im Bereich  $0 \dots 160V$ ,  
15 wie sie vom Stand der Technik her bekannt ist. Die untere  
Kurve h zeigt eine erfindungsgemäße Ansteuerkurve mit einer  
Biasspannung  $U_B=-20V$ , so dass die Steuerspannung U einen Zyk-  
lus zwischen  $-20V$  und  $+160V$  durchläuft.

20 In Figur 3b wurden die entsprechenden Hubkurven für das zu  
bewegende Bauteil dargestellt. Die untere Kurve k entspricht  
der Steuerspannung nach Kurve g in Figur 3a. Die obere Kurve  
i zeigt einen vergrößerten Hub, wie er erfindungsgemäß ent-  
sprechend der Kurve h in Figur 3a erwartet wurde. Der Hub ist  
25 also in diesem Ausführungsbeispiel um ca. 15% vergrößert wor-  
den, wobei die Belastung für den Aktor nur minimal anstieg,  
da das untere Spannungsniveau auf  $-20V$  gelegt wurde. Mit der  
Erfindung wurde somit ein doppelter Vorteil erzielt: der Hub  
wurde vergrößert, obgleich die Belastung für den Aktor nahezu  
30 konstant blieb.

Zur weiteren Veranschaulichung der Erfindung werden an Hand  
der Figuren 4 bis 7 die Auswirkungen der Biasspannung  $U_B$  an  
einem Einspritzventil 1 (Injektor) erläutert, wie er bei-  
35 spielsweise für die Kraftstoffeinspritzung in einen Verbren-  
nungsmotor Verwendung findet. Bei den dargestellten Ein-  
spritzventilen wurde aus Übersichtlichkeitsgründen nur ein

einfaches hydraulisches Hochdruckventil dargestellt, das beispielsweise für die Benzineinspritzung verwendet werden kann. Die Darstellungen sind nicht maßstabsgetreu, sondern wurden teilweise vergrößert dargestellt, da sich die Längenänderungen des Aktors in der Praxis nur im  $\mu\text{m}$ -Bereich bewegen.

Figur 4 zeigt zunächst das per se bekannte Einspritzventil 1 mit einem Aktor 2, einem hydraulischen Element 9 und einem zu bewegendem Bauteil 3, die in einem gemeinsamen Gehäuse 8 angeordnet sind. Das zu bewegendem Bauteil 3 ist in diesem Fall als Ventilnadel ausgebildet, die sich bei Elongation des Aktors 3 nach unten öffnet. Im Ruhezustand, d.h. ohne Steuerungspannung  $U$  wird der Ventilkopf durch eine Rückstellfeder 5 gegen eine Auslassöffnung gepresst, so dass diese geschlossen wird. Der Aktor 2 ist des weiteren mit dem Schaft der Ventilnadel 3 fest verbunden. Sein oberes Ende steht mit einem hydraulischen Element 9 in Verbindung, das über eine Leckspalte von einer Kraftstoff-Hochdruckleitung 7 befüllt werden kann. Das hydraulische Element 9 wirkt hier als hydraulisches Lager, das gegenüber der Entladungszeit des Aktors 2, die 1 bis 5 ms betragen kann, eine sehr lange Zeitkonstante aufweist. Gegenüber dem Gehäuse 8 sind die beweglichen Teile mit einem Balg entsprechend abgedichtet. Die Spannungsversorgung für den Aktor 2 erfolgt über Leitungen 4. Die gepulste Steuerungspannung  $U$  wird dabei von 0V auf einen gewünschten Wert, zum Beispiel +160V geschaltet und nach Ablauf einer vorgegebenen Pulsdauer wieder auf 0V zurückgeschaltet (vgl. Figur 3a).

Bei dem bekannten Einspritzventil 1 hat das hydraulische Lager 9 einen Flüssigkeitspegel  $h_0$ , der sich über die Leckspalte langsam ändern kann. Der Aktor 2 weist im Ruhezustand die Länge  $l_0$  auf. Beim Anlegen der Steuerungspannung  $U=160\text{V}$  öffnet sich die Ventilnadel 3 entsprechend der Kurve  $k$  (vgl. Figur 3b).

Alternativ ist jedoch auch vorgesehen, durch konstruktive Umgestaltung des Injektors 1 die Ventilnadel 3 nach innen zu

öffnen. Auch kann insbesondere für die Dieseleinspritzung, bei der noch höhere Drücke erzeugt werden, der Injektor 3 mit einem Servoventil ausgebildet sein, wobei das Servoventil auf ein hydraulisches Element wirkt, das dann als hydraulischer Übertrager ausgebildet ist.

Die verschiedenen Typen von Einspritzventilen sind per se bekannt, so dass deren Funktion nicht näher erläutert werden muss.

10

An Hand der Figur 5 wird nun die Wirkungsweise der Erfindung erläutert, wenn sie bei einem Einspritzventil 1 gemäß der Figur 4 angewendet wird. Die Bezeichnungen sind wieder die gleichen, wie sie in Figur 4 beschrieben wurden. Jetzt wird jedoch an den Aktor 2 mit Hilfe eines Steuergerätes 10 eine Biasspannung UB angelegt, die eine der Polungsrichtung des Aktors 2 entgegengesetzte Polarität aufweist. In diesem Beispiel sei die Vorzugspolarisierung in der Piezokeramik positiv gerichtet, so dass die Biasspannung  $UB < 0V$  ist, beispielsweise  $-30V$ . Als Folge dessen verkürzt sich der Aktor 2 auf die Länge  $l_0 - \delta$ . Das hydraulische Lager 9 füllt sich langsam um die Längendifferenz  $\delta$ , bis das hydraulische Lager 9 die Höhe  $h_0 + \delta$  einnimmt. In diesem Zustand verharret der Aktor 2, bis das Steuergerät 10 eine positive Steuerspannung U erzeugt, die eine entsprechende Elongation des Aktors 2 bewirkt.

Die beiden Figuren 6 und 7 zeigen im Vergleich die Wirkungsweise bei der bekannten Ansteuerung (Figur 6) und der erfindungsgemäßen Ansteuerung (Figur 7).

Entsprechend der Figur 6 ändert sich nun beim Anlegen der Steuerspannung  $U = 160V$  die Länge  $l_0$  des Aktors 2 um den Hub  $\Delta l_0$ . In der Realität beträgt der Hub  $\Delta l_0$  nur ca. 0,13% der Länge  $l_0$  und ist hier stark vergrößert dargestellt worden. Das hydraulische Lager 9 behält im wesentlichen seine Höhe  $h_0$  bei. Die kleinen Verluste durch Spaltströmung fallen wegen

der kurzen Betriebszeit von typisch 1...5 ms praktisch nicht ins Gewicht. Wegen der festen Verbindung mit der Ventalnadel 3 wird das Ventil ebenfalls um den Hub  $\Delta l_0$  geöffnet.

5 Figur 7 zeigt nun das erfindungsgemäße Verfahren, bei dem eine Biasspannung UB an das Einspritzventil 1 angelegt wurde, die den Aktor 2 verkürzt hat. Dieser Fall wurde zuvor zu Figur 5 erläutert. Wird nun - ausgehend von der negativen Biasspannung UB - vom Steuergerät 10 ebenfalls die Steuerspannung  
10  $U=160V$  angelegt, dann ändert sich die Länge des Aktors 2 auf den Wert  $\Delta l_0 + \delta$ . Damit wird auch der Hub der Ventalnadel 3 auf den Wert  $\Delta l_0 + \delta$  erhöht und erreicht gegenüber dem bekannten Verfahren eine deutliche Vergrößerung. Die Höhenänderung  $\delta$  des hydraulischen Lagers 9 wird fast vollständig auf den Nadelhub übertragen, wenn man Effekte zweiter Ordnung, beispielsweise die leicht veränderte Steifigkeit des hydraulischen Lagers als Folge der Höhenänderung vernachlässigt. Auf  
15 jeden Fall ist der erfindungsgemäße Nadelhub  $\Delta l_0 + \delta$  immer größer als beim Stand der Technik.

20

Figur 7 zeigt eine idealisierte Momentaufnahme für den Zustand unmittelbar nach dem Öffnen des Injektors 2. Auf Dauer entleert sich das hydraulische Lager 9 und driftet langsam zurück. Daher sollte die Festlegung der Zeitkonstanten an die realen Gegebenheiten möglichst exakt angepasst werden. Für das erfindungsgemäße Verfahren hat diese Abstimmung jedoch keine grundsätzliche Bedeutung.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Einspritzventils, das wenigstens einen piezoelektrisches Aktor (2), ein zu bewegendes Bauteil (3) und ein hydraulisches Element (9) aufweist, die in einem gemeinsamen Gehäuse (8) angeordnet sind, wobei durch Anlegen einer Steuerspannung (U) an den Aktor (2) der Hub des zu bewegendes Bauteils (3) reversibel steuerbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass der Aktor (2) mit einer Biasspannung (UB) vorgespannt wird, wobei die Biasspannung (UB) eine der Polungsrichtung des Aktors (2) entgegengesetzte Vorspannung aufweist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Betrag der Biasspannung (UB) kleiner ist als der Betrag einer solchen Spannung, die zu einer Umpolung des Aktors (2) führen würde.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Biasspannung (UB) zur Vergrößerung des Hubs ( $\Delta l_0$ ) des zu bewegendes Bauteils (3) verwendet wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Biasspannung (UB) derart bestimmt wird, dass eine Reduzierung des Energieverbrauchs für den Aktor (2) eintritt.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerspannung (U) unter Nutzung der Biasspannung (UB) zur Einstellung eines definierten Hubs ( $\Delta l_0 + \delta$ ) des zu bewegendes Bauteils (3) vorgegeben wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass mit dem definierten Hub ( $\Delta l_0 + \delta$ ) des zu bewegendes Bauteils (3) die Einspritzmenge bestimmt wird.

7. Steuergerät zur Erzeugung einer Steuerspannung (U) für ein Einspritzventil (1), das wenigstens einen piezoelektrischen Aktor (2), ein zu bewegendes Bauteil (3) und ein hydraulisches Element (9) aufweist, die in einem gemeinsamen Gehäuse (8) angeordnet sind, wobei durch Anlegen der Steuerspannung (U) an den Aktor (2) der Hub ( $\Delta l_0$ ) des zu bewegendes Bauteils (3) reversibel steuerbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät (10) eine Biasspannung (UB) erzeugt, durch die der Aktor (2) vorgespannt ist und die der Polungsrichtung des Aktors (2) entgegengesetzt ist und dass die Steuerspannung (U) ausgebildet ist, den Hub ( $\Delta l_0$ ) des zu bewegendes Bauteils (3) unter Nutzung der Biasspannung (UB) zu vergrößern.
- 15 8. Steuergerät nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Betrag der Biasspannung (UB) kleiner ist als der Betrag einer solchen Spannung, die zu einer Umpolung des Aktors (2) führen würde.
- 20 9. Steuergerät nach einem der Ansprüche 7 oder 8, gekennzeichnet durch eine Verwendung an einem Einspritzventil (1) für die Kraftstoffeinspritzung in einen Benzinmotor.
- 5 10. Steuergerät nach einem der Ansprüche 7 oder 9, gekennzeichnet durch eine Verwendung an einem Einspritzventil (1) für die Kraftstoffeinspritzung in einen Dieselmotor.

## Zusammenfassung

Verfahren zum Betrieb eines Einspritzventils mit einem piezoelektrischen Aktor sowie Steuergerät

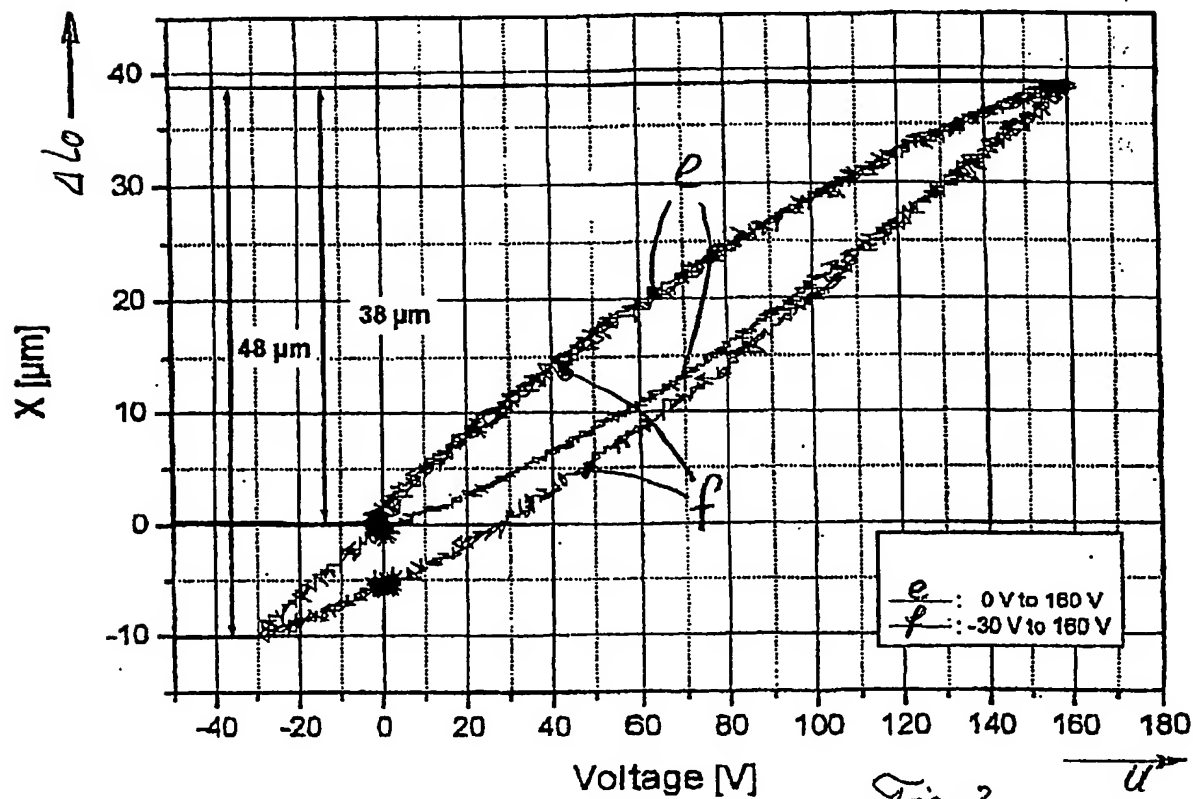
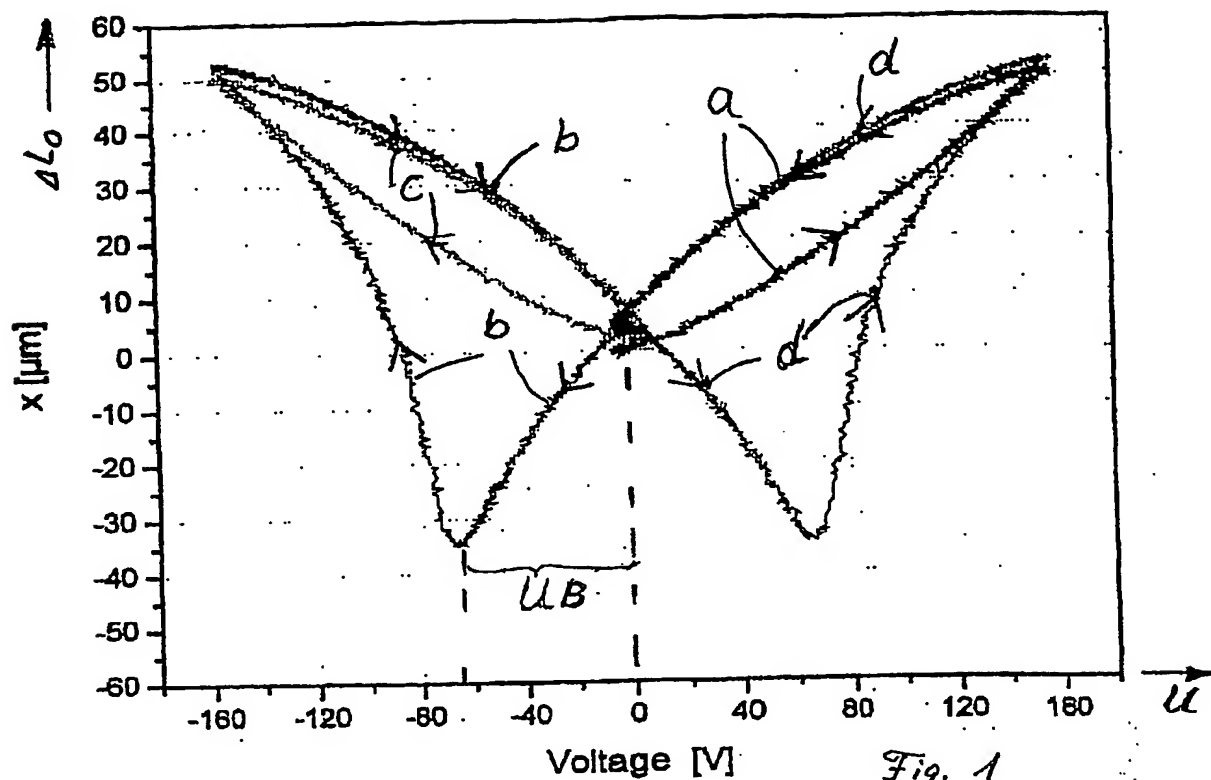
5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren beziehungsweise ein Steuergerät (10) zum Betrieb eines hydraulischen Einspritzventils, das wenigstens einen piezoelektrischen Aktor (2), ein zu bewegendes Bauteil (3) und ein hydraulisches Element (9) wie Lager oder Übertrager aufweist. Durch Anlegen einer Steuerspannung (U) wird eine Längenänderung des Aktors (2) bewirkt, mit der der Hub des zu bewegendes Bauteils (Ventilnadel 3) gesteuert wird. Erfindungswesentlich ist dabei, dass das Steuergerät (10) eine Biasspannung (UB) erzeugt, die den Aktor (2) vorspannt, wobei deren Polungsrichtung entgegengesetzt ist zur Polungsrichtung des Aktors (2). Dadurch wird bei Ansteuerung des Aktors (2) in Polungsrichtung in vorteilhafter Weise eine größere Längenänderung erreicht, als wenn - wie bisher üblich - die Steuerspannung bei 0 Volt beginnt. Ein weiterer Vorteil besteht auch darin, dass sich der Energieverbrauch reduziert.

Figur 2

25

30





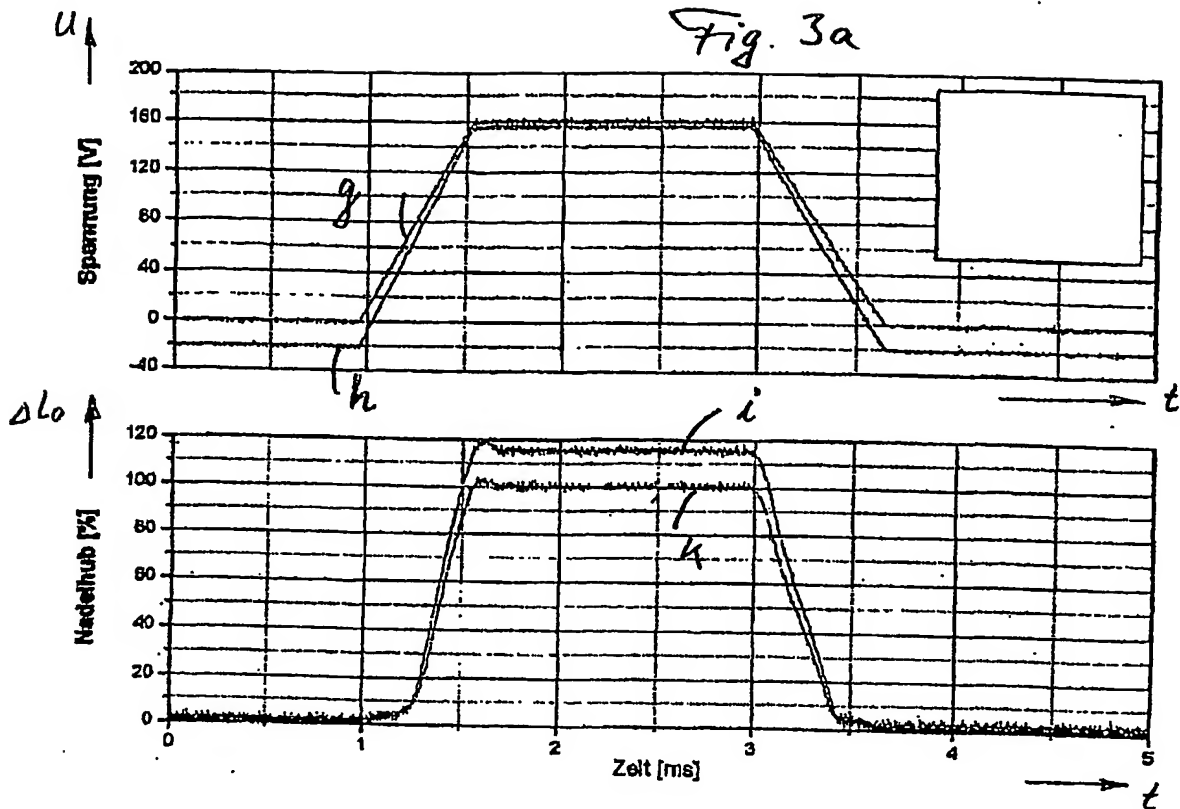


Fig. 3b

• WILHELM + BECK

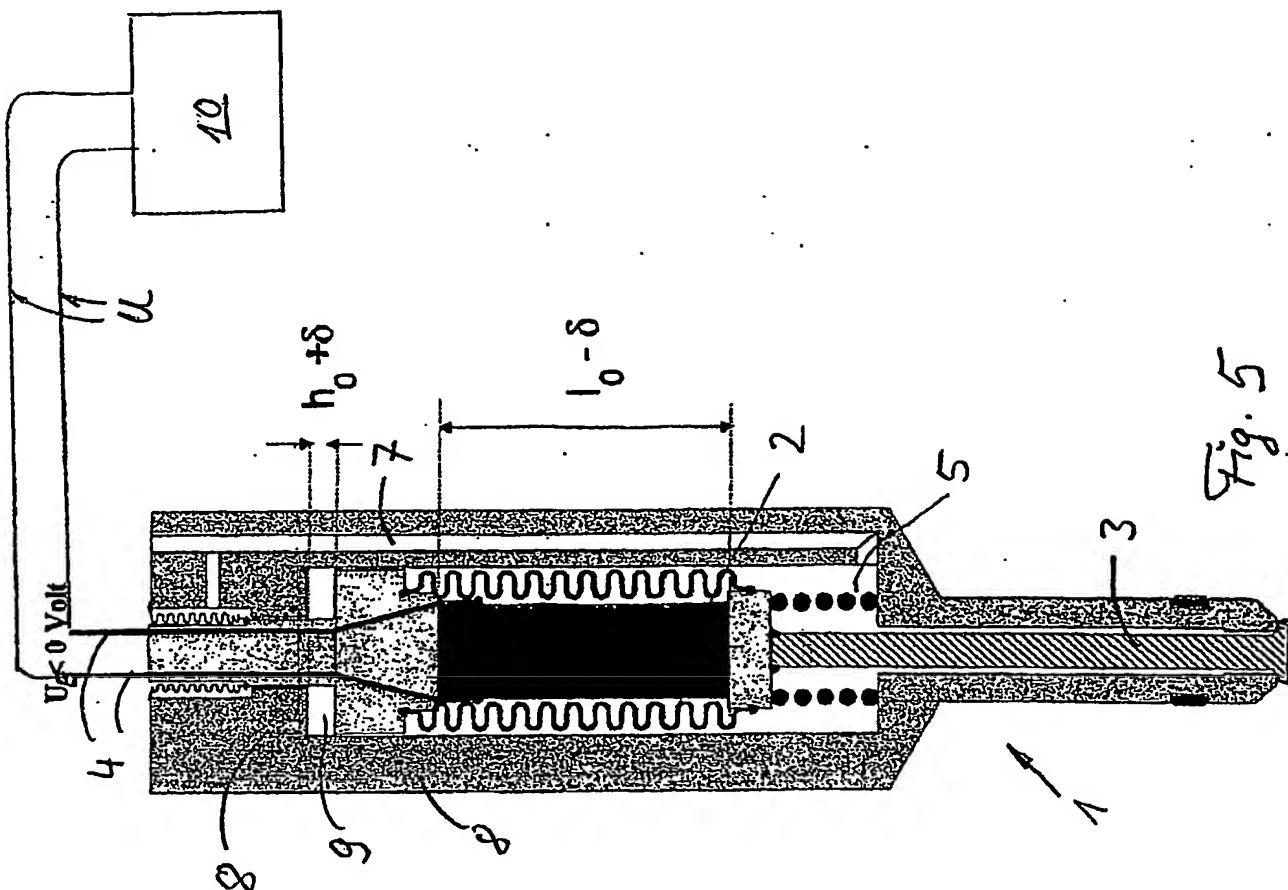


Fig. 5

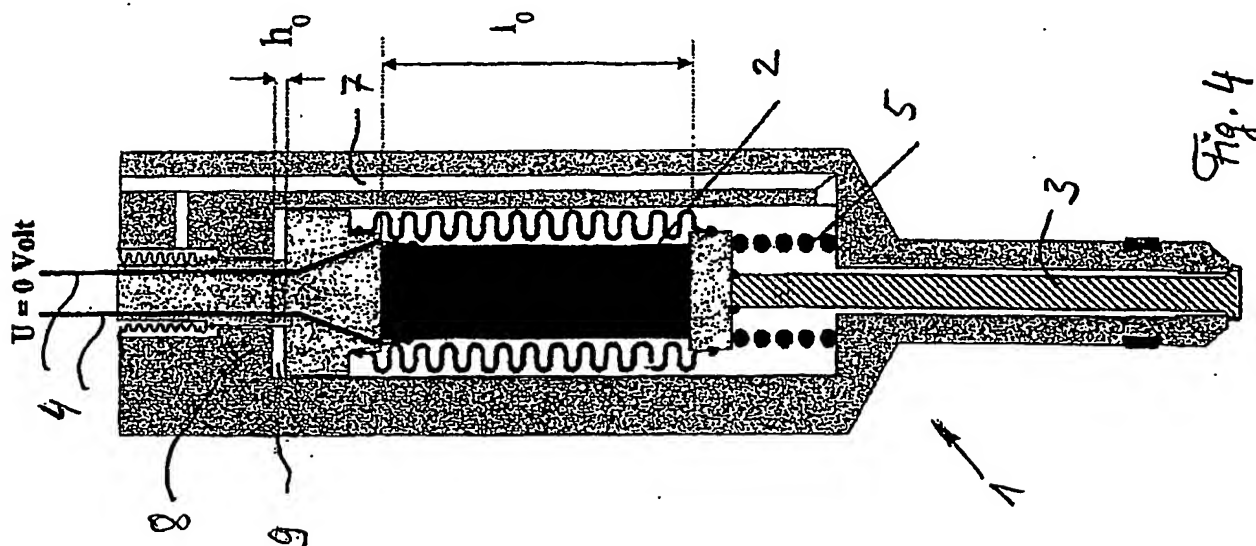
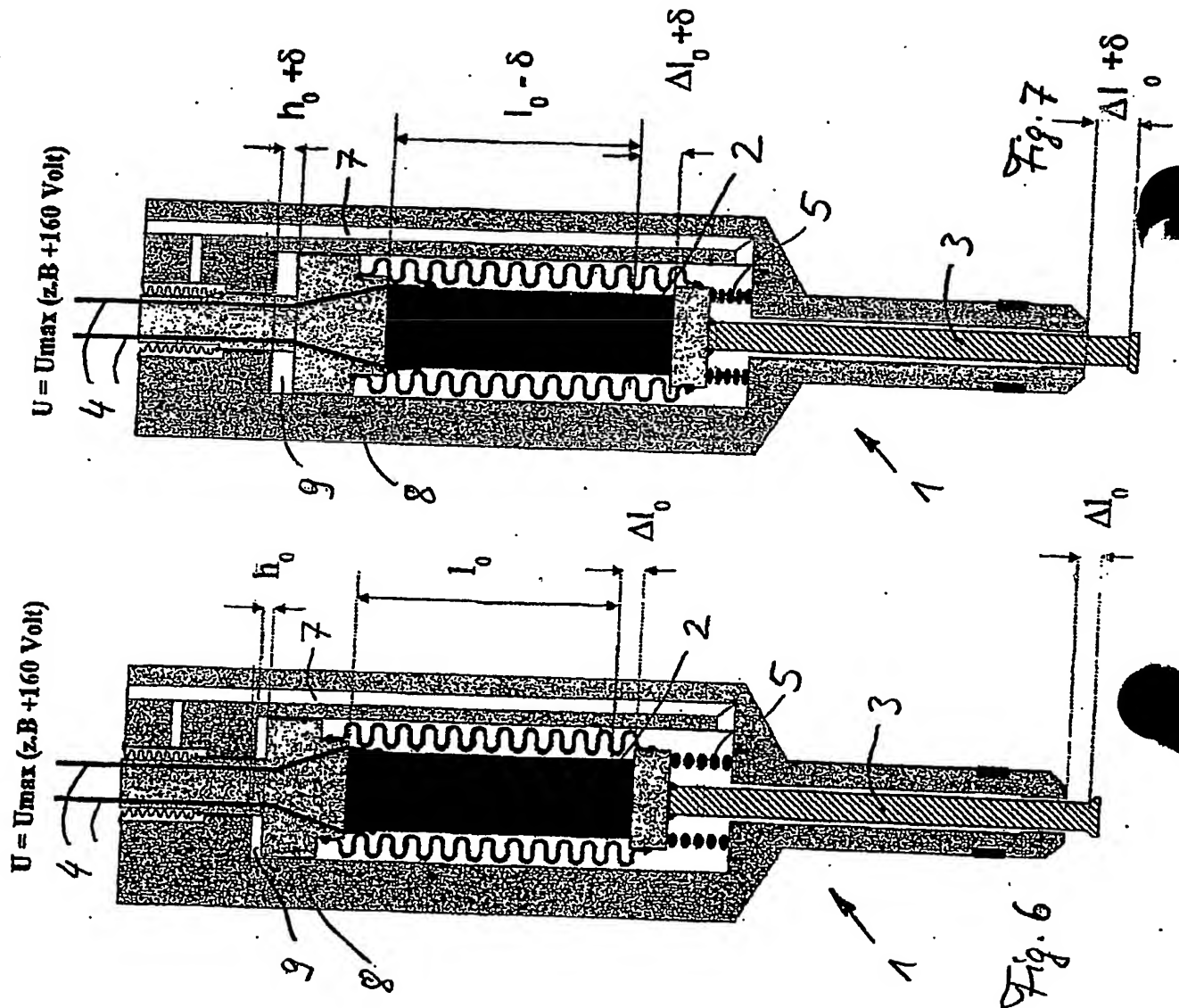


Fig. 4



PCT Application  
DE0302931



Best Available Copy

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**